

Rancang Bangun Kontroller Pendingin Untuk Unit Peltier Berbasis Fuzzy Logic

RANCANG BANGUN KONTROLLER PENDINGIN UNTUK UNIT PELTIER BERBASIS FUZZY LOGIC**Frima Setyawan Nur Rohman**Teknik Elektro, Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : frimar@mhs.unesa.ac.id**Puput Wanarti Rusimamto**Teknik Elektro, Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : puputwanarti@unesa.ac.id.com**Abstrak**

Penggunaan alat elektronik tidak akan dengan lepas dengan terbuangnya energi yang berupa panas. Panas yang dihasilkan tersebut apabila tidak ditangani akan mengurangi umur dari alat elektronik tersebut. Oleh karena itu, bagian elektronik yang menghasilkan panas tersebut diperlukan kontrol temperatur yang salah satunya adalah menggunakan *heatsink* dan kipas. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem pendingin yang pada penelitian ini digunakan untuk mengontrol temperatur unit peltier menggunakan *fuzzy logic*. Perancangan *hardware* pada unit pendingin ini untuk keseluruhan tempat (*case*) menggunakan akrilik dan aluminium untuk penampungan air. *Fuzzy logic* yang digunakan memiliki 1 *input fuzzy set* dan 1 *output fuzzy set*, masing-masing memiliki anggota 5 yang kemudian dipasang satu persatu menggunakan logika *IF-THEN* yang akan diimplementasikan ke Arduino. *Input fuzzy* merupakan *Delta Error* hasil dari target temperatur dan pembacaan sensor. *Output fuzzy* merupakan nilai koreksi kipas yang akan digunakan untuk menyesuaikan temperatur agar sesuai dengan target. Hasil penelitian ini didapati nilai waktu tunda (*delay time*) sebesar 17 detik, nilai waktu naik (*rise time*) sebesar 33 detik, nilai puncak dari respon (*peak time*) sebesar 74 detik. Nilai waktu tunak (*settling time*) sebesar 180 detik. Dengan nilai *Error Steady State* sebesar 1,07% dan *Maximum Overshoot* sebesar 8,1%.

Kata Kunci : Pendingin, Kontrol Temperatur, *Fuzzy Logic*, Arduino.

Abstract

The usage of electronic devices will not be separated with the energy waste in the form of heat. If left untreated, the generated heat will reduce the life of the electronic device. Therefore, the electronic parts that produce heat are needed temperature control, one of which is using a heatsink and fan. The purpose of this research is to design a cooling system which in this study is used to control the temperature of the peltier unit using fuzzy logic. The hardware design of this cooling unit for placing the device (case) uses acrylic and aluminum for water storage. Fuzzy logic that is used having an input of the fuzzy set and an output of the fuzzy set, each having 5 members where it fitted one by one employ logic if-then that will be implemented in arduino. Fuzzy input is delta error the result of the target temperatures and the reading sensors. Fuzzy output is considered as correction a fan that will be used to adjust temperature to fit with a target. All this research found the value of delay time 17 seconds, the value of rise time 33 seconds, the value of the top of a response of peak time 74 seconds. The value of settling time 180 seconds. With an error steady state of 1,07% and maximum overshoot of 8,1%.

Keywords : Coolant, Temperature Control, *Fuzzy Logic*, Arduino.

PENDAHULUAN

Setiap peralatan elektronik terdapat energi yang terbuang berupa panas yang dapat menimbulkan kerusakan permanen. Cara mencegah kerusakan yang diakibatkan oleh panas yang melebihi batas perlu digunakan kipas untuk mendinginkan bagian yang panas.

Kipas listrik (*electric fan*) adalah perangkat sederhana yang terdiri dari bilah kipas yang berputar untuk menggerakkan udara, namun tidak mengubah temperatur. Sehingga, diperlukan kontroller untuk mengontrol kecepatan kipas agar tetap pada batas aman. Selain kipas listrik, pendingin *thermo-electric* (TEC),

atau juga bisa disebut pendingin peltier berfungsi memindahkan panas dari satu sisi ke sisi lain. Menurut *Datasheet Thermoelectric Cooler* maksimal perbedaan temperatur kedua sisi yaitu 69°C.

Fuzzy logic merupakan logika bernilai banyak atau *multivalued logic* yang mampu mendefinisikan nilai diantara keadaan yang konvensional seperti benar atau salah. Dipilihnya *Fuzzy logic* sebagai kontroller karena kelebihan tersebut yang bisa digunakan untuk kebanyakan sistem di keseharian kita yang merupakan non-linear sistem, seperti pada kasus ini kecepatan kipas dengan temperatur peltier.

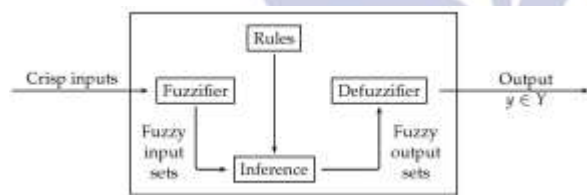
Menurut Bonato, dkk (2015) dalam penelitian yang berjudul *Speed Regulation in Fan Rotation Using Fuzzy Inference System*, bahwa mengontrol kecepatan kipas terhadap temperatur udara menggunakan *Fuzzy logic*. Penelitian tersebut hanya mengontrol kecepatan kipas untuk temperatur udara, sedangkan pada penelitian ini juga mengontrol kecepatan kipas terhadap temperatur pada sisi panas peltier.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian untuk: 1) Merancang sistem pendingin unit peltier menggunakan kontroler *Fuzzy logic*; 2) Melakukan pengujian sistem pendingin peltier menggunakan kontroler *Fuzzy logic*.

TINJAUAN PUSTAKA

Algoritma Fuzzy

Satu satu kemungkinan algoritma *fuzzy logic* adalah model mamdani yang memperkirakan karakteristik tertentu yang tersimpan didalam model. Model mamdani adalah salah satu dari algoritma utama dari teori *fuzzy*. Menjadi model dari karakteristik estimasi, yang digunakan dimana angka yang tersedia set input data adalah “relatif kecil” model sugeno adalah contoh lain dari algoritma *fuzzy logic*. Algoritma tersebut bisa digunakan jika angka dari set input data “cukup”. Mekanisme dari *fuzzy inference system* (FIS) dideskripsikan dengan 4 tahap yang ditunjukkan pada gambar 1 : *fuzzification*, *inference*, *aggregation*, *defuzzification*.



Gambar 1. Sistem *fuzzy logic*

Sumber : (Kumar, 2015)

Tahap pertama (*fuzzification*), variabel input difuzzifikasikan. Jumlah dari *fuzzy set* telah ditentukan dan fungsi keanggotaan juga didefinisikan untuk setiap variabel input, berdasarkan dari total semua informasi yang tersedia.

Tahap kedua (*inference*), variabel output juga difuzzifikasikan dalam cara analog, seperti variabel input pada tahap pertama. Tahap ini, *fuzzy rules* ditetapkan. Jumlah dan bentuk tergantung pada kualitas dari informasi yang tersedia. Ini merupakan tahap utama dalam algoritma *fuzzy*.

Pengaplikasian rules ini, nilai crisp dari semua variabel input untuk menentukan banyak nilai dari fungsi keanggotaan setiap variabel output, sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan.

Tahap ketiga (*aggregation*) untuk setiap variabel, nilai dari fungsi keanggotaan yang telah didapatkan di tahap sebelumnya digabungkan sehingga, variabel output mendapat *fuzzy set* beserta fungsi keanggotaan yang telah didefinisikan.

Tahap keempat (*defuzzification*), defuzzifikasi adalah proses mengubah hasil linguistik ke nilai numerik. Salah satu karakteristik dari defuzzifikasi adalah *continuity*, karena jika terjadi perubahan kecil tidak akan merubah secara tiba-tiba pada variabel *output* oleh karena itu metode *center of area* (*centroid*) digunakan.

Metode *center of area*:

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

x^* = hasil *defuzzifikasi*

x_i = sampel elemen

$\mu(x_i)$ = fungsi keanggotaan

Arduino Uno

Arduino Uno R3 adalah *prototyping platform* sebuah paket berupa papan (*board*) elektronik (*hardware*) dan lingkungan pengembangan (*software*) yang memanfaatkan kemampuan mikrokontroler jenis tertentu. Mikrokontroler yang digunakan pada Arduino Uno adalah jenis Atmel seri ATmega 328 seperti gambar 2.



Gambar 2. Papan Arduino Uno R3

Pada Board Arduino terdapat beberapa komponen dan pin-pin untuk mengambil data dan komunikasi serial. Mulai dari data analog input (A0 sampai A5) dan digital pun bisa dimanfaatkan. Untuk data digital I/O menggunakan pin 0 sampai dengan 13. Namun demikian, pin ke-0 dan ke-1 digunakan untuk komunikasi serial. Khusus untuk pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11 dapat dimanfaatkan untuk keperluan PWM (*Pulse Width Modulation*). Board Arduino tidak terlepas dari sumber catu dayanya. Catu daya yang digunakan dapat menggunakan kabel USB yang terhubung dengan komputer atau menggunakan sumber daya baterai di *jack PWR IN*.

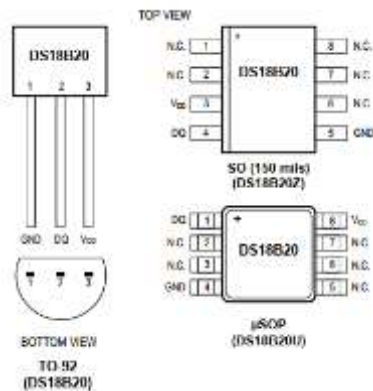
Sensor DS18B20

DS18B20 merupakan termometer digital dengan 9-bit sampai 12-bit pengukuran temperature Celsius. DS18B20 berkomunikasi hanya dengan 1 kabel yang berarti hanya menggunakan 1 kabel untuk data line untuk berkomunikasi dengan mikroprosessor.

Setiap DS18B20 memiliki 64-bit kode serial yang unik, dimana memungkinkan beberapa DS18B20 untuk berfungsi dalam 1 kabel data line. Oleh karena itu

sangat simple untuk menggunakan 1 mikroprosessor untuk mengontrol banyak DS18B20 yang bisa disebar ke area yang luas. Pengaplikasian yang bisa dimanfaatkan dari keuntungan tersebut merupakan pengatur temperatur lingkungan, sistem monitor temperatur dalam ruangan, peralatan atau mesin, dan proses monitor dan sistem kontrol.

DS18B20 membutuhkan sumber tegangan DC +5 volt dan untuk sensor bisa bekerja output dari DS18B20 diparalelkan ke sumber tegangan menggunakan resistor 4,7kohm. Bentuk fisik sensor DS18B20 merupakan chip IC dengan kemasan yang bervariasi, pada umumnya kemasan sensor DS18B20 adalah kemasan TO-92 seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Sensor DS18B20
Sumber : (Datasheet DS18B20)

Gambar di atas dapat diketahui bahwa sensor DS18B20 pada dasarnya memiliki 3 pin yang berfungsi sebagai sumber tegangan VDD, sebagai *output* hasil penginderaan DQ dan pin untuk ground. DS18B20 memiliki keakuratan $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ dari -10°C sampai $+85^{\circ}\text{C}$. memiliki jangkauan pengukuran dari -55°C sampai $+125^{\circ}\text{C}$.

Pendingin Thermo-Electric (TEC)/Peltier

TEC adalah singkatan dari “Thermo-Electric Cooler”, sebuah komponen pendingin solid-state elektrik yang bekerja sebagai “pompa-panas” dalam melakukan proses pendinginan. TEC memindahkan panas melalui kedua sisinya. TEC mengabsorpsi panas melalui salah-satu sisinya dan memancarkan panas melalui satu sisi lainnya. Pada bagian sisi TEC yang mengabsorpsi panas terjadi efek pendinginan, inilah yang dimanfaatkan untuk berbagai keperluan pendinginan.

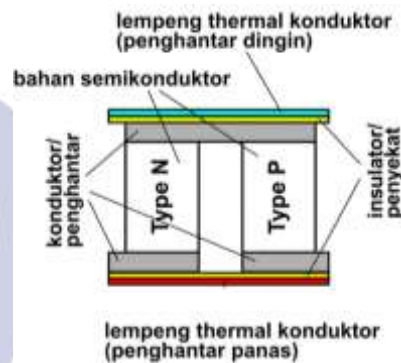
Pendingin Peltier adalah sebutan lain untuk TEC, disebut demikian karena TEC memanfaatkan “efek-Peltier”. Efek Peltier pertama kali ditemukan oleh Jean Charles Antanase Peltier pada tahun 1834. Kata “Peltier” diambil dari namanya.

Efek Peltier adalah efek timbulnya panas pada satu sisi dan timbulnya dingin pada sisi lainnya manakala arus listrik DC dilewatkan kepada untai dari dua tipe material berbeda yang dipertemukan.

Material tersebut adalah material thermo-electric element yang dibuat dari bahan semikonduktor. Di antara bahan semikonduktor yang dapat dijadikan thermo-electric element adalah : Bismuth-telluride (Bi_2Te_3), Lead-telluride (PbTe), Silicon-germanium (SiGe), dan Bismuth-antimony (BiSb). Bismuth-telluride belakangan lebih umum digunakan karena mempunyai sifat-sifat unggulan.

Dari bahan semikonduktor tersebut dibuatlah dua tipe yang berbeda, satu tipe “N” (negatif) dan satunya lagi tipe “P” (positif).

Dua tipe material semikonduktor yang berbeda itu lalu disusun dengan susunan pada gambar 4.



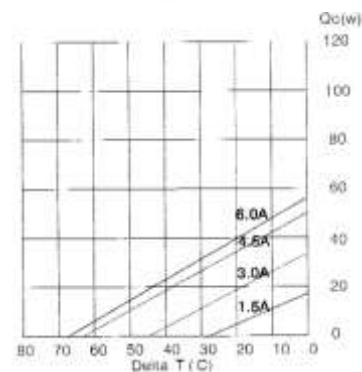
Gambar 4. Susunan konstruksi peltier
Sumber : (Sandi, 2016)

Pada gambar 4 diperlihatkan susunan satu untai thermocouple TEC beserta elemen-elemen pendukungnya. Dua semikonduktor yang berbeda type dipertemukan melalui logam-logam yang bersifat menghantarkan listrik (konduktor).

Terdapat dua sisi yang bersebelahan, yaitu sisi bagian atas dan sisi bagian bawah. Pada masing-masing sisi diberikan penyekat (biasanya dari bahan keramik substrat) sebelum ditempelkan lempeng tipis sebagai thermal konduktor.

Dalam prakteknya, penggunaan TEC sebagai pendingin solid-state tidak pernah lepas dari heatsink dan kipas pembuang panas.

Peltier memiliki karakteristik yang berbeda pada nilai perbedaan sisi panas dan sisi dingin yang sesuai dengan arus yang diberikan dan bisa dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. hubungan arus dengan Delta T
Sumber : (Datasheet TEC-12706)

Kipas DC dan Heatsink

Heatsink digunakan untuk memindahkan panas pada suatu perangkat elektrik dan menyebarkan ke seluruh bagian *heatsink*.

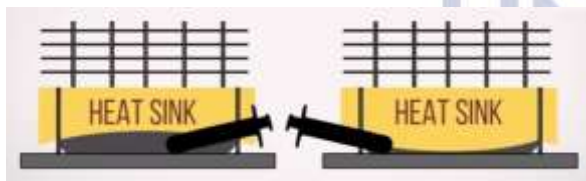
Fan atau kipas berfungsi untuk mendinginkan suhu *heatsink*, sehingga dibutuhkan kipas yang berfungsi membuang panas dari *heatsink* ke udara. Sumber tegangan yang digunakan sebesar 12 Volt DC. Dapat terlihat Gambar 6 merupakan bentuk fisik kipas DC dan *heatsink*.



Gambar 6. Kipas DC dan *Heatsink*
Sumber : (Datasheet IC-Cooling SE-902X)

Thermal Paste

Thermal paste adalah pasta penghantar panas sangat tinggi yang digunakan diantara dua buah objek/benda agar dapat menghantarkan panas yang lebih baik. *Thermal paste* mengisi rongga mikroskopis yang terbentuk diantara dua objek yang dapat menjebak udara masuk diantaranya sehingga mengakibatkan kerugian pelepasan panas menuju ke *heatsink* ditunjukkan pada gambar 7. *Thermal Interface Materials* (TIM) dapat mengkonduksikan (menghantarkan) panas hingga 100 kali lebih besar dari pada udara. Namun, *thermal paste* tidak lebih baik dari konduktor tembaga. *Thermal paste* yang terlalu banyak juga akan menghambat proses pelepasan panas sehingga kinerja *heatsink* tidak bisa maksimal.



Gambar 7. Rongga udara pada pemasangan *heatsink*
Sumber : (Sandi, 2016)

METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Dari rancangan penelitian yang sudah dibuat sebelumnya, maka prosedur untuk masing-masing tahapan akan dipaparkan sebagai berikut :

Studi Literatur

Sebelum mengerjakan penelitian ini, peneliti menelaah beberapa penelitian yang masih berhubungan baik. Dari beberapa penelitian tersebut akan ditemukan suatu rumusan masalah. Pengajuan pertanyaan-pertanyaan penelitian yang jawabannya harus dicari

menggunakan data yang relevan. Kemudian peneliti perlu menetapkan informasi-informasi yang diperlukan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan yang telah dirumuskan. Sebagai bahan literatur peneliti mempelajari buku-buku manual dan jurnal-jurnal tentang *Fuzzy logic* dan kontrol PWM kipas elektrik.

Pengumpulan Bahan

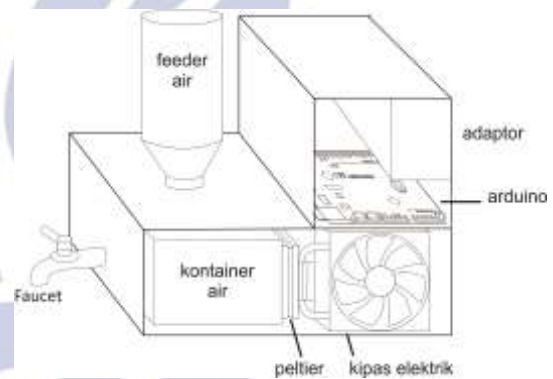
bahan tentang informasi batas aman peltier bekerja, standar pendinginan dan jurnal penelitian.

Rancang Bangun Hardware

Desain sistem pengontrolan temperatur pada sisi panas peltier berbasis *Fuzzy logic* menggunakan Arduino yang ditunjukkan pada Gambar 8 dan ilustrasi hardware pada Gambar 9.



Gambar 8. Diagram Blok *Hardware*.



Gambar 9. Ilustrasi *hardware*

Pada Gambar 9 merupakan perancangan sistem pengontrolan temperatur pada unit peltier berbasis *Fuzzy logic* yang terdiri dari blok sistem yang terintegrasi menjadi satu sistem utuh. Pembagian blok sistem dibagi menjadi blok *hardware* dan blok pengolahan data. Pada blok *hardware* terdiri dari catudaya, sensor DS18B20, Arduino Uno R3 dan sebagai aktuator adalah kipas elektrik. Catu daya digunakan untuk menyediakan tegangan listrik ke peltier dan kipas elektrik dengan sumber listrik sebesar 12 VDC. Pengaturan set point menggunakan nilai yang diinginkan dari sisi panas peltier yang perlu dicapai. Sensor DS18B20 adalah sensor temperatur yang akan menerima pembacaan data kondisi sisi panas peltier. Hasil pembacaan sensor akan dikirim ke mikrokontroler Arduino. Arduino sebagai peranti akuisisi data perantara antara komputer dan aktuator pada proses pengendalian dengan tujuan membaca nilai *input* dan mengeset *output* pada kipas elektrik.

Selanjutnya pada blok komputer terdiri dari komputer dan tampilan monitoring menggunakan Arduino IDE. Komputer sebagai piranti pemroses data,

penerima, pengirim program melalui kabel USB ke Arduino, menampilkan nilai - nilai dari variabel yang dibutuhkan melalui software Arduino IDE.

Rancang Bangun Software

Rancang bangun *software* yang dimaksud adalah sebuah program yang dimasukkan ke dalam mikrokontroler Arduino dengan menggunakan *library* eFLL - *Fuzzy Library for Arduino and Embedded Systems*. Pemilihan bahasa Arduino ini dipilih karena untuk memadai perhitungan matematis dalam sistem pengontrolan temperatur ruang dan bersifat *open source*. Karena sifatnya yang *open source*, maka banyak *library* yang dikembangkan oleh personal atau komunitas di luar *developer* Arduino itu sendiri.



Gambar 10. Flowchart rancang Software

Gambaran umum jalannya program adalah membaca nilai perbedaan temperatur dari sisi dingin dan panas peltier. Kontroller akan memproses data tersebut mengatur kecepatan kipas sesuai dengan nilai perbedaan temperatur yang masuk. Kontroller *fuzzy* akan mengendalikan kecepatan kipas melalui sinyal PWM. Kecepatan kipas akan mengikuti perubahan perbedaan temperatur. Untuk garis besar proses jalannya program ditunjukkan melalui *flowchart* rancangan *software* pada Gambar 10.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Blok Catu Daya

Catu Daya (*Power Supply*) pada sistem ini memiliki peranan penting sebagai sumber tegangan DC pada

sistem. Untuk sistem ini digunakan 2 buah catu daya (*power supply*) Berdasarkan alat pengukuran *input Power supply* sebesar 224,6 Volt AC. Untuk tegangan *power supply* 1 yang terukur yaitu 12,06 Volt sebagai sumber Arduino dan kipas PWM dengan 310mA, sedangkan tegangan *power supply* 2 yang terukur sebesar 12,20 Volt sebagai sumber unit peltier dengan 5,02A.

Tabel 1 Hasil Pengujian Catu Daya

No.	Input dan Output	Hasil Pengukuran Multimeter (V)	Hasil Pengukuran Multimeter (A)
1.	Input Catu Daya	224,6	
2.	Output 1 Catu Daya	12,06	0,31
3.	Output 2 Catu Daya	12,20	5,02

Blok Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 adalah sebuah sensor yang sudah terkalibrasi dengan tingkat akurasi untuk temperatur $\pm 0,5$. Pada penelitian Skripsi ini membandingkan data pembacaan temperatur DS18B20 dengan instrumentasi temperatur lain yang memiliki tingkat akurasi temperatur yaitu *Digital Thermometer* dengan akurasi $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Pengujian dengan membandingkan pembacaan sensor temperatur jenis lain bertujuan untuk melihat tingkat akurasi pada sensor DS18B20.

Perbandingan antara kedua instrumentasi tersebut menghasilkan pembacaan nilai temperatur yang berbeda-beda. Selisi pembacaan nilai rata-rata dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor DS18B20

No.	Waktu	Sensor DS18B20 $^{\circ}\text{C}$	Digital Thermometer $^{\circ}\text{C}$	Selisih $^{\circ}\text{C}$
1.	Pagi (07.00-08.00)	25.8	25.3	0.3
2.	Siang (13.00-14.00)	27.4	27.9	0.5
3.	Malam (22.00-23.00)	23.9	24.7	0.8
Rata-rata				0.53

Blok Unit Peltier

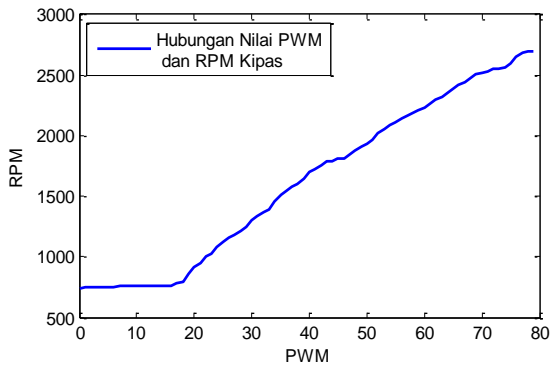
Unit peltier bekerja ideal dengan 12 volt DC dengan maksimal arus 5 amper. Unit peltier mempunyai skala voltase kerja dari 4 volt sampai 16 volt. Pada tabel 3 dapat dilihat hubungan voltase dengan suhu terendah yang dapat dicapai peltier.

Tabel 3. Hasil Pengujian Peltier

Voltase	Suhu (Celcius)
4 volt	9 derajat
8 volt	5 derajat
12 volt	0 derajat
16 volt	-4 derajat

Blok kipas PWM

Kipas PWM ini mempunyai peranan untuk menjalankan kipas pada saat proses pendinginan unit peltier agar temperatur disisi panas peltier tidak melebihi batas amanoleh karena itu sisi panas diatur dengan *set point* 37° C. Cara kerja dari rangkaian ini kipas akan otomatis menyesuaikan kecepatannya dari 810 RPM sampai 2670 RPM seperti gambar 11. Arduino akan menentukan nilai kecepatan kipas PWM merupakan hasil dari kontrol *fuzzy* yang menggunakan sensor dari sisi panas peltier dan akan menyesuaikan nilai tersebut dengan nilai *set point*.

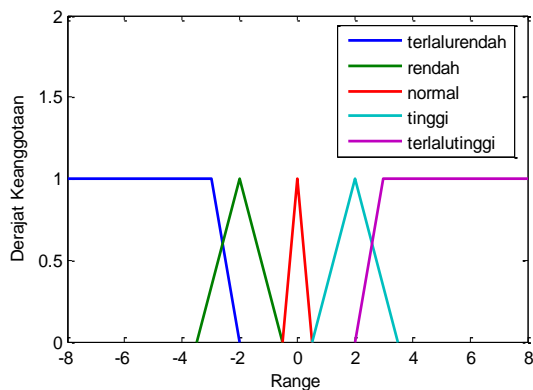


Gambar 11. Grafik hubungan nilai PWM dan RPM kipas

Konfigurasi Kontrol Fuzzy

Untuk merancang konfigurasi kontroler *Fuzzy* tidak dibutuhkan fungsi alih. Untuk perancangan kontroler *Fuzzy*, hanya dibutuhkan dari pengetahuan dan pengalaman peneliti. Peneliti harus mengetahui *input*, *output*, dan karakteristik *plant* ketika merancang kontroler *Fuzzy*.

Pada skripsi ini, input untuk kontroler fuzzy adalah error suhu yang berasal dari selisih set point suhu dan dan suhu dari sisi panas peltier. Skala input error ini dimulai dari -21 sampai 21 derajat celcius. Himpunan fuzzy yang digunakan pada setiap variabel input error mempunyai 5 membership, yaitu terlalu rendah, rendah, normal, tinggi dan terlalu tinggi dengan bentuk fungsi membership berupa trapesium dan segitiga seperti Gambar 12.



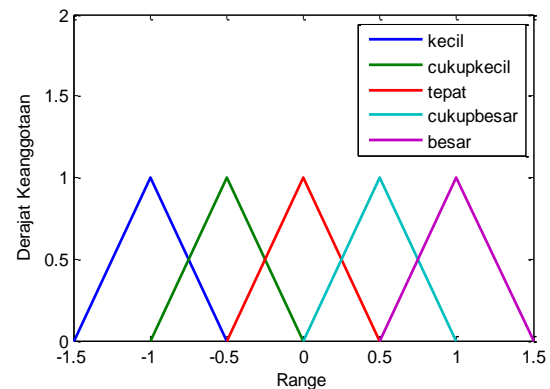
Gambar 12. Membership Function input error

Basis aturan logika *Fuzzy* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan aturan *IF-THEN* dengan metode implikasi "*MIN*" dan jumlah aturan yang dihasilkan sesuai dengan jumlah himpunan *Fuzzy* yang digunakan pada setiap variabel. Kemudian hasil dari setiap aturan *Fuzzy* diagregasikan menggunakan metode "*MAX*". Basis aturan *Fuzzy* yang direncanakan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Peltier

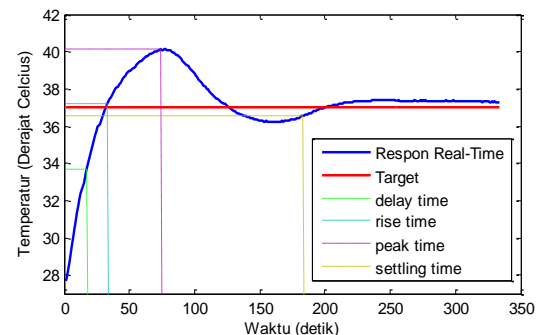
Input Suhu	Output Kipas
Terlalu rendah	Besar
Rendah	Cukup besar
Normal	Normal
Tinggi	Cukup kecil
Terlalu tinggi	Kecil

Defuzifikasi menggunakan metode *centeroid*. Pada metode ini, solusi tegas diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah *Fuzzy*. Pada skripsi ini, *output Fuzzy* berupa nilai untuk mengoreksi nilai PWM kipas yang kemudian diubah menjadi kecepatan kipas dalam RPM. Skala nilai untuk output dimulai dari -1,5 sampai 1,5 dan akan dibagi menjadi 5 fungsi membership dari kecil, cukup kecil, normal, cukup besar dan besar, seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Membership Function output fuzzy

Analisa Grafik Real-Time Pada Plant Dengan Kontroler



Gambar 14. Analisa grafik Respon Real-Time Plant Dengan Kontroller

Untuk hasil analisa pada gambar 14 menghasilkan respon waktu naik (*rise time*) sebesar 33 detik, untuk mencapai *steady state* (*settling time*) pertama kali sebesar 180 detik, serta waktu tunda (*delay time*) sebesar 17 detik. Pada pengujian menggunakan kontrol fuzzy ini mempunyai nilai *error steady state* sebesar 1,07% yang mengindikasikan plant dengan kontroler berhasil karena dibawah nilai toleransi 5%. Dalam pengujian ini mendapat hasil nilai persentasi *Maximum Overshoot* 8,1 % dengan nilai puncak 40°C. Waktu untuk mencapai nilai puncak dari respon (*peak time*) sebesar 74 detik.

$$ESS = \frac{Y_{ss} - X_{ss}}{X_{ss}} 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$MO\% = \frac{Y_p - Y_{ss}}{Y_{ss}} 100\% \dots\dots\dots (3)$$

$$\tau_d = \frac{0.742}{\zeta \omega_n} \dots\dots\dots (4)$$

$$\tau_r = \frac{1}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}} \dots\dots\dots (5)$$

$$\tau_s = \frac{4.5}{\zeta \omega_n} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

ESS = *Error Steady State*

MO% = *Maximum Overshoot Percentage*

Y_{ss} = Nilai suhu pada saat *Steady State*

X_{ss} = Target suhu

Y_p = Nilai suhu pada saat *Peak time*

τ_d = Waktu tunda

τ_r = Waktu naik

τ_s = Waktu tunak

ζ = rasio peredaman (*damping ratio*)

ω_n = frekuensi alami takteredam

$$ESS = \frac{37,38 - 37}{37} 100\% \quad MO = \frac{40 - 37}{37} 100\%$$

$$= 1,07\% \quad = 8,1\%$$

$$\tau_d = \frac{0.742}{0.625 \times 0.0395} \quad \tau_s = \frac{4.5}{0.0395 \times 0.625}$$

$$= 17 \text{ detik} \quad = 180 \text{ detik}$$

$$\tau_r = \frac{1}{0.0395 \times 0.78}$$

$$= 33 \text{ detik}$$

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang dilakukan, maka didapatkan simpulan Sistem Monitoring dan Pengontrolan temperatur pada pendingin unit peltier untuk kontroler Fuzzy berhasil dibuat terintegrasi secara otomatis dengan metode PWM pada kipas pendingin. Dan Kontroler Fuzzy yang

dirancang untuk mengendalikan respon temperatur sisi panas peltier, berhasil mencapai nilai *setpoint* dengan nilai ESS (*Error Steady State*) pada respon plant sebesar 1,07%. Untuk repon waktu naik (*rise time*) $\tau_r = 33$ detik, waktu tunda (*delay time*) $\tau_d = 17$ detik, dan respon waktu tunak (*settling time*) sebesar $\tau_s = 180$ detik.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa aspek yang dapat diperbaiki dan dikembangkan agar memberikan hasil yang lebih maksimal. Pertama menggunakan kipas PWM yang mempunyai range kecepatan yang lebih besar untuk memperbesar *range* temperatur yang diatur. Kedua menggunakan unit peltier dengan daya yang lebih tinggi untuk pengujian yang lebih bervariasi. Dan yang terakhir sistem ini masih dapat dikembangkan dengan menggunakan metode kontroler yang lain seperti *PID-Fuzzy*, *Model Predictive Control*, dan yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bonato, jasminka; Mrak, Zoran.; Badurina, Martina. 2015. "Speed regulation in fan rotation using fuzzy inference system", *Scientific Journal of Maritime Research*.
- Kumar, Lakshya; Rawat, Tejender Singh.; Pandey, Manoj; Kumar, Upendra. 2015. "Automatic Control of Fan Speed using Fuzzy Logic", *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences* Vol 3, issue 4.
- Purnama, Agus. "Sensor Suhu IC LM35". <http://elektronika-dasar.web.id/sensor-suhu-ic-lm35/>. Diakses tanggal 31 Mei 2017.
- Rochman, Dkk. 2013. *Modul Kontrol Temperatur Air Berbasis PID Menggunakan MATLAB Simulink*. Semarang: Politeknik Negeri Semarang
- Sandi. "TEC Atau Pendingin peltier". <http://www.sandielektronik.com/2016/07/tec-atau-pendingin-peltier.html>. Diakses tanggal 31 Mei 2017.
- Tim Penulis. 2014. *Buku Pedoman Penulisan dan Ujian Skripsi Unesa*. Surabaya: Unesa.
- Wardana, I Nyoman Kusuma. 2015. *Teknik Antarmuka MATLAB dan Arduino*. Denpasar: Vaikutha International Publication.
- Web. <http://www.idcooling.com/Product/detail/id/52/name/SE-902X>. Diakses 31 Mei 2017.